

**OPTICAL MODULATOR USING PHOTONIC BAND GAP STRUCTURE AND OPTICAL MODULATION METHOD**

Patent Number: JP2001051244  
Publication date: 2001-02-23  
Inventor(s): KAWANISHI TETSUYA  
Applicant(s): COMMUNICATION RESEARCH LABORATORY MPT  
Requested Patent: ☐ JP2001051244  
Application Number: JP19990227509 19990811  
Priority Number(s):  
IPC Classification: G02F1/03  
EC Classification:  
Equivalents: JP3200629B2

---

**Abstract**

---

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To obtain a highly integrated optical integrated circuit by efficiently phase-modulating propagated light by arranging a gap between two photonic band gap structures, making a light incident to this gap and propagate.

**SOLUTION:** A modulator 100 is made up of two symmetrically, arranged linear photonic band structures 104 and an optical waveguide 105, which is a gap sandwiched between them. Metallic plates of a necessary thickness are arranged as a bottom electrode 108 and a top electrode 109 on the top and bottom of each photonic band structure 104. The electrodes of the right and left photonic band structures are independent of each other and are provided with lead wires 110 for applying a modulation signal so as to be applied with an external voltage. When an incident light beam 101 is made incident to the optical waveguide 105 by using an incident lens system 102 in the z-direction from optical fiber. Then, the light polarized in the y-direction is used. The incident light beam 101 is phase-modulated, while propagating through the optical waveguide 105, and is emitted from the other end of the optical waveguide 105.

---

Data supplied from the esp@cenet database - I2

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-51244

(P2001-51244A)

(43) 公開日 平成13年2月23日 (2001.2.23)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

G 0 2 F 1/03

識別記号

5 0 5

F I

G 0 2 F 1/03

タームコード\* (参考)

5 0 5 2 H 0 7 9

審査請求 有 請求項の数12 O L (全 8 頁)

(21) 出願番号

特願平11-227509

(22) 出願日

平成11年8月11日 (1999.8.11)

(71) 出願人 391027413

郵政省通信総合研究所長

東京都小金井市貫井北町4丁目2番1号

(72) 発明者 川西 哲也

東京都小金井市貫井北町4-2-1 郵政省

通信総合研究所内

F ターム (参考) 2H079 AA02 BA01 BA03 DA01 DA03

DA16 EA03 EA05 EA08 EB04

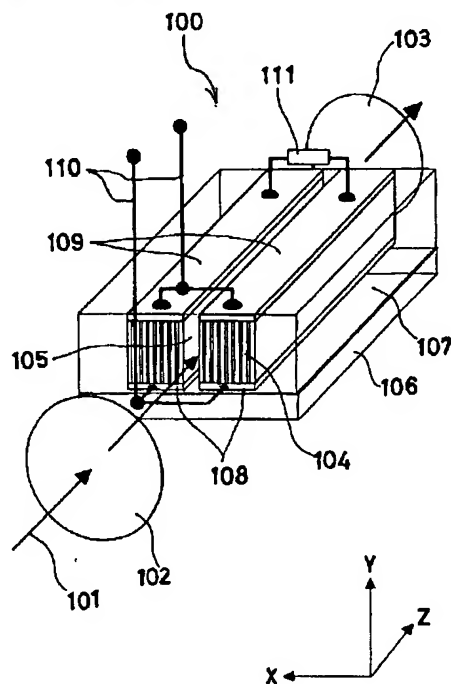
EB05 HA12 JA06 KA01

(54) 【発明の名称】 フォトニックバンドギャップ構造を用いた光変調器及び光変調方法

(57) 【要約】

【課題】 電界の変化による物性定数の変化を用いる光変調器で、変調効率が高く、光導波路が短くても十分に位相変調のできるものを実現する。

【解決手段】 電界の変化による物性定数の変化を用いる光変調器で、特に電気光学効果を持った誘電体材料で作られたフォトニックバンド構造を光導波路の側壁に用い、大きな波数でシングルモード状態を保持しながら、光の伝搬速度を従来の方法による場合よりも遅くし、また、該フォトニックバンド構造に電界を印加することによりフォトニックバンド構造による効果として光の位相を変化せしめて変調作用を起こすものである。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 電界の変化による物性定数の変化を用いる光変調器で、少なくとも二つのフォトニックバンドギャップ構造と、該フォトニックバンドギャップ構造に電界を印加するための電極と、該電極に電圧を印加するための手段と、該二つのフォトニックバンドギャップ構造間に設けられた間隙と、該少なくとも二つのフォトニックバンドギャップ構造間に設けられた間隙に光を導入する手段とを持ち、入射した光は、該間隙を伝播することを特徴とする光変調器。

【請求項2】 請求項1の光変調器において、少なくとも三つのフォトニックバンドギャップ構造を有し、該少なくとも三つのフォトニックバンドギャップ構造に電界を印加するための複数の電極と、該複数の電極に電圧を印加するための手段と、該少なくとも三つのフォトニックバンドギャップ構造のうちのそれぞれ少なくとも二つの間に設けられた複数の間隙と、該複数の間隙に光を導入する手段と、を持ち、入射した光はそれぞれの該間隙を伝播することを特徴とする光変調器。

【請求項3】 請求項1あるいは2の光変調器において、フォトニックバンドギャップ構造は、それぞれ平行に並んだ複数の1次元フォトニックバンドギャップ構造であり、該1次元フォトニックバンドギャップ構造の方向へは伝搬することがバンドギャップにより禁じられている波数の光を、該間隙に入射し伝播させることを特徴とする光変調器。

【請求項4】 請求項3の光変調器において、1次元フォトニックバンドギャップ構造は、電界によって屈折率の変化する平板と、該平板と屈折率の異なる領域が交互に規則的に平行に並んだ構造よりなる1次元フォトニックバンドギャップ構造で、該平板の法線方向は該光の伝播方向に直交することを特徴とする光変調器。

【請求項5】 請求項3の光変調器において、該電極は、該光の伝播方向と該平板の該法線方向とで作られる面に平行であることを特徴とする光変調器。

【請求項6】 請求項3の光変調器における電極の法線方向は、それぞれの1次元フォトニックバンドギャップ構造について共通する方向に設けられる事を特徴とする光変調器。

【請求項7】 請求項3の光変調器における電極は、それぞれの1次元フォトニックバンドギャップ構造について共通する一側面に設けられる事を特徴とする光変調器。

【請求項8】 請求項3の光変調器における電極の法線方向は、それぞれの1次元フォトニックバンドギャップ構造の相対する方向に設けられる事を特徴とする光変調器。

【請求項9】 請求項3の光変調器における少なくとも2つの電極は、それぞれの1次元フォトニックバンドギャップ構造の相対する方向に設けられ、少なくとも2つ

の異なる1次元フォトニックバンドギャップ構造に設けられた電極が連続した平面よりなる事を特徴とする光変調器。

【請求項10】 請求項1、2、3、4、5、6、7、8あるいは9の光変調器における1次元フォトニックバンドギャップ構造は、リチウムナイオベイト(LiNbO<sub>3</sub>)とガス体をその構成物として含む事を特徴とする光変調器。

【請求項11】 請求項1、2、3、4、5、6、7、8あるいは9の光変調器における1次元フォトニックバンドギャップ構造は、リチウムナイオベイト(LiNbO<sub>3</sub>)と二酸化ケイ素をその構成物として含む事を特徴とする光変調器。

【請求項12】 請求項1、2、3、4、5、6、7、8、9、10、あるいは11における光変調器で、該フォトニックバンドギャップ構造に電界を印加するための電極に直流あるいは交流電圧を印加することにより、光の位相変調を行う事を特徴とする光変調方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は、フォトニックバンドギャップ構造を用いた光変調器に関するものである。特に、誘電体を用いた電気信号による光の位相あるいは振幅の変調装置で、従来の装置に比べて変調効率が良く、変調器を小型にできるものである。

【0002】

【従来の技術】電気光学効果を用いた従来の光変調器の例(西原 浩、春名 正光、栖原 敏明共著、「光集積回路」、オーム社、301頁、図10・1)を図6に示す。この例は、位相変調器を二個用いた振幅変調器である。この例では、電気光学効果をもつLiNbO<sub>3</sub>結晶表面に光導波路を設け、その光導波路とその周辺に電界を印加することにより生ずる導波路の境界領域の屈折率の変化を用いて、光の位相を変化させ、その内部を伝播する光の変調を行うものである。この場合の屈折率の変化率は、伝搬定数、従って位相の変化率に概略等しい。また、この方式で広い変調帯域幅を有するものに進行波型光変調器(西原 浩、春名 正光、栖原敏明共著、「光集積回路」、オーム社、303頁、図10・3)がある。これは、電極の一端から電気信号を入力し、電極を伝搬させた後、他端で電氣的に終端するものである。変調は、変調信号が電極を伝搬している間に行われる。従来のこの型の装置では、この変調領域のサイズは20から50mmであり、その周波数限界は50GHz程度である。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】しかし、従来の光変調器では、変調効率が低く、効率を高めるためには電界を印加された長い光導波路を使う必要があった。この様に光導波路が長くなるに従って、電極を伝播する電気信号

と光導波路を伝播する光との速度差が顕在化し、効率的な変調には自ずと限界があった。

【0004】この発明は上記に鑑み提案されたもので、改善された変調効率を持つフォトニックバンドギャップ構造を用いた光変調器を提供することを目的とする。

【0005】

【課題を解決するための手段】本発明の光変調器は、電界の変化による物性定数の変化を用いる光変調器で、特に電気光学効果を持った誘電体材料で作られたフォトニックバンド構造を光導波路の側壁に用い、大きな波数でシングルモード状態を保持しながら、光の伝搬速度を従来の方法による場合よりも遅くし、また、該フォトニックバンド構造に電界を印加することによりフォトニックバンド構造による効果として光の位相や振幅を変化せしめることにより、変調作用を起こすものであり、従来には無かった方法である。

【0006】この光変調器の動作原理を示すために、図4のように二つの一次元半無限フォトニックバンド構造間の空隙を伝搬する光を考える。ここで、この一次元半無限フォトニックバンド構造404は、屈折率2.29の物質Aでできたx方向の厚さaのスラブ431とx方向の厚さbの空気層430が交互に並んだ構成となっている。この例ではaとbが等しく、これが長さの単位となっているとする。つまり $a=b=1$ とする。また、二つの一次元半無限フォトニックバンド構造間の間隙が導波路405となるが、これは $2a+2c$ で $c=1$ 、3の場合を考える。フォトニックバンド構造での具体的サイズは、導波路を伝播する被変調光401に対しては全反射する様にその幾何学的サイズが決められ、結果として光は該導波路に閉じ込められる。変調を受ける光の空気中での波数を $k_0$ とし、誘電体導波構造を取り扱う一般的な方法に従って、導波路を伝搬する光を二つの平面の合成と見ると、導波路に沿った方向への伝搬定数 $\beta$ は、 $\beta=k_0 \times \sin \theta$ であり、ここで $\theta$ は平面波とx方向の角度である。この $\sin \theta$ と波数の関係を、導波路に沿って進む光について数値計算によるシミュレーションで求めた結果が図5である。この図に示されるように特定の波数においては、大きな波数でシングルモード状態を保持しながら、 $\sin \theta$ 、従って伝搬定数 $\beta$ は、著しく小さくできることが分かる。

【0007】この様に、本発明で提案する構造では、光導波路内を伝播する光の伝播速度を、大きな波数でシングルモード状態を保持しながら調整することが可能となり、該伝播する光を効率よく位相変調することができるようになった。

【0008】また、本発明の方法の他の利点としては、屈折率の変化率に対する伝搬定数の変化率が従来の装置に比べて著しく大きいことである。上記説明の図5における動作点Gでは、従来の場合に比べて、40倍以上の効果シミュレーションにより得られている。つまり、

該構造のサイズを最適化することにより、該電界にたいする位相変化を大きくすることができ、従って従来の変調器に比べて小さな電界で必要な位相変化を生ぜしめる事や変調器の小型化が可能となり、より高集積度の光集積回路が可能となった。

【0009】また、他の利点としては、光の電界分布が大きい場合でも、伝搬できる波数に対する伝搬定数が限られるため、伝播モードをシングルモードにできる点であり、このため、該電界との相互作用領域を従来に比べ大きく維持したまま、多モードに分散して伝播することによる信号劣化等の悪影響から逃れることができる。

【0010】さらに、電極を設計する上での利点としては、電極に電気光学効果物質が接する面積が半分程度になるため、電極下の物質の比誘電率を実質的に低下せしめることができ、従って、特性インピーダンスを容易に大きくすることができる。

【0011】上述の原理に基づいた光変調器で、上記目的を達成するために、請求項1に記載の発明は、少なくとも二つのフォトニックバンドギャップ構造と、該フォトニックバンドギャップ構造に電界を印加するための電極と、該電極に電圧を印加するための手段と、該二つのフォトニックバンドギャップ構造間に設けられた間隙と、該二つの1次元フォトニックバンドギャップ構造間に設けられた間隙に光を導入する手段とを持ち、入射した光は、該間隙を伝播することを特徴としている。該間隙は光導波路となり、この導波路を光が伝搬する際に、フォトニックバンドギャップ構造の伝搬定数が、該電極に印加される電圧により変化する効果を、本発明は利用している。

【0012】また、請求項2に記載の発明は、上記した請求項1に記載の発明の構成に加えて、少なくとも三つのフォトニックバンドギャップ構造を有し、該少なくとも三つのフォトニックバンドギャップ構造に電界を印加するための複数の電極と、該複数の電極に電圧を印加するための手段と、該少なくとも三つのフォトニックバンドギャップ構造のうちのそれぞれ少なくとも二つの間に設けられた複数の間隙と、該複数の間隙に光を導入する手段と、を持ち、入射した光はそれぞれの該間隙を伝播することを特徴としている。請求項2に記載の発明により、複数のフォトニックバンドギャップ構造と複数の光導波路を具えた光変調器において、フォトニックバンドギャップ構造の数を減らす事が出来る。

【0013】また、請求項3に記載の発明は、上記した請求項1または2に記載の発明の構成に加えて、フォトニックバンドギャップ構造は、それぞれ平行に並んだ複数の1次元フォトニックバンドギャップ構造であり、該1次元フォトニックバンドギャップ構造の方向へは伝搬することがバンドギャップにより禁じられている波数の光を、該間隙に入射し伝播させることを特徴としている。この請求項3に記載の発明により、フォトニックバ

ンドギャップ構造として、最も製造の容易な1次元フォトリックバンドギャップ構造で、光変調器が実現できる事を開示している。

【0014】また、請求項4に記載の発明は、上記した請求項3に記載の発明の構成に加えて、1次元フォトリックバンドギャップ構造は、電界によって屈折率の変化する平板と、該平板と屈折率の異なる領域が交互に規則的に平行に並んだ構造よりなる1次元フォトリックバンドギャップ構造で、該平板の法線方向は該光の伝播方向に直交することを特徴としている。この請求項4に記載の発明により、請求項3に記載の発明のさらに詳細な構造を開示し、1次元フォトリックバンドギャップ構造の2つの構成物のうち電気光学効果を持つ平板は、一方のみで良い事を提案している。

【0015】また、請求項5に記載の発明は、請求項3の発明の構成に加えて、該電極は、該光の伝播方向と該平板の該法線方向とで作られる面に平行であることを特徴としている。この請求項5に記載の発明により、電極の向きが開示され、具体的配置が可能になった。

【0016】また、請求項6に記載の発明は、上記した請求項3に記載の発明の構成に加えて、該電極の法線方向は、それぞれの1次元フォトリックバンドギャップ構造について共通する方向に設けられる事を特徴としている。この請求項6に記載の発明により、複数の1次元フォトリックバンドギャップ構造に設けられる電極の方向を開示して、電極の方向をより明確にしている。

【0017】また、請求項7に記載の発明は、上記した請求項3に記載の発明の構成に加えて、該電極は、それぞれの1次元フォトリックバンドギャップ構造について共通する一側面に設けられる事を特徴としている。この請求項7に記載の発明により、該電極を、1次元フォトリックバンドギャップ構造の表面、裏面あるいは側面のみに付けることが開示されており、製造しやすい方向に電極を設けることで、変調作用が実現できることを示している。

【0018】また、請求項8に記載の発明は、上記した請求項3に記載の発明の構成に加えて、該電極の法線方向は、それぞれの1次元フォトリックバンドギャップ構造の相対する方向に設けられる事を特徴としている。例えば、1次元フォトリックバンドギャップ構造の表面と裏面に電極を設けて、これらに逆相の信号を加えるようにすると、フォトリックバンドギャップ構造は、大きな電界にさらされることになり、効率的な変調が出来る。

【0019】また、請求項9に記載の発明は、上記した請求項3に記載の発明の構成に加えて、該電極は、それぞれの1次元フォトリックバンドギャップ構造の相対する方向に設けられ、異なる1次元フォトリックバンドギャップ構造に設けられた電極の少なくとも1つが連続した平面よりなる事を特徴としている。この請求項9に記載の発明により、複数の1次元フォトリックバンドギャ

ップ構造に設けられる電極について、共通のものが使えるようになり、電極間の配線の一部を省略できる事を開示している。

【0020】また、請求項10に記載の発明は、上記の請求項1、2、3、4、5、6、7、8、あるいは9に記載の発明の構成に加えて、該1次元フォトリックバンドギャップ構造は、リチウムナイオベイト(LiNbO<sub>3</sub>)とガス体をその構成物として含む事を特徴としている。この請求項10に記載の発明により、1次元フォトリックバンドギャップ構造の構成材料を開示している。

【0021】また、請求項11に記載の発明は、上記の請求項1、2、3、4、5、6、7、8、あるいは9に記載の発明の構成に加えて、該1次元フォトリックバンドギャップ構造は、リチウムナイオベイト(LiNbO<sub>3</sub>)と二酸化ケイ素をその構成物として含む事を特徴としている。この請求項11に記載の発明により、1次元フォトリックバンドギャップ構造の構成材料を開示している。

【0022】また、請求項12に記載の発明は、1、2、3、4、5、6、7、8、9、10、あるいは11に記載の発明の構成に加えて、該光変調器の該電極に直流あるいは交流電圧を印加することにより、光の位相変調を行う事を特徴としている。

【0023】

【発明の実施の形態】本発明の実施の形態を具体的に示すために、第一の誘電体物質をリチウムナイオベイト、第二の誘電体物質を二酸化ケイ素とする実施形態を第一の実施例に、また、第一の誘電体物質をリチウムナイオベイト、第二の誘電体物質を空気とする実施形態を第二の実施例に示す。さらに、強度変調器に適用した場合の実施形態を第三の実施例に示す。

【0024】図1に本発明の第一の実施例の模式図を示す。この例は波長0.633ミクロンのHe-Neレーザ光の変調器100であり、2つの対称配置された1次元フォトリックバンド構造104と、それに挟まれた一つの間隙105を有する。それぞれのフォトリックバンド構造のサイズは、x方向が5.844ミクロン、y方向が3.2ミクロン、z方向が5ミリメートルのもので、間隙はフォトリックバンド構造に挟まれる位置に0.774ミクロンの幅で、二酸化ケイ素で埋められている。この1次元フォトリックバンド構造は、x方向が0.167ミクロン、y方向が10ミクロン、z方向が5ミリメートルのリチウムナイオベイト(LiNbO<sub>3</sub>)板と、x方向が0.167ミクロン、y方向が10ミクロン、z方向が5ミリメートルの二酸化ケイ素板とを構成要素として、交互にそれぞれ平行に8枚並べたものである。リチウムナイオベイトの光学軸は、y方向である。波長0.633ミクロン光での屈折率は、リチウムナイオベイトでは、2.29で、二酸化ケイ素では、1.43である。各フォトリックバンド構造の上下には、電極

108、109として図のように1.0ミクロンの金板が設置されており、左右のフォトニックバンド構造の電極はそれぞれ独立しており、それには、外部から電圧を印加できるように、引き出し線110が設けてある。この図における電極は、それぞれの各フォトニックバンド構造で独立しているが、2つのフォトニックバンド構造にまたがる電極を用いることも可能である。光101は、光ファイバーから、図1のようにそのz方向に沿ってレンズ系102を用いて該空隙105に入射される。この際、y方向に偏光した光を用いている。該空隙は、光の導波路として用いられ、入射光がその部分を伝播する際に位相変調され、該空隙の他の一端から放射される。この部分にも光学系を用いて、他の光ファイバーに入射しても良い。この場合、光波の位相のずれは、電極に印加する電圧に比例し、 $\pi$ ずらすために必要な印加電圧は15.9Vであった。

【0025】図2に本発明の第二の実施例の模式図を示す。この例は波長1.5ミクロン光の変調器200であり、2つの対称配置された1次元フォトニックバンド構造204と、それに挟まれた一つの空隙205でなっている。そのフォトニックバンド構造のサイズは、x方向が17.3ミクロン、y方向が10ミクロン、z方向が5ミリメートルのもので、変調器の中心部に2.3ミクロンの空隙をもっている。この1次元フォトニックバンド構造は、x方向が0.5ミクロン、y方向が10ミクロン、z方向が5ミリメートルのリチウムナイオベイト板を構成要素として、0.5ミクロンの間隔でそれぞれ平行に8枚並べたものである。各板の間は、空隙であり、空気で充たされている。波長1.5ミクロン光での屈折率は、空気は1.0であり、リチウムナイオベイト(LiNbO<sub>3</sub>)では、2.29である。各フォトニックバンド構造の上下208、209には、電極として図のように金板が設置されており、そのうちの一つは異なった1次元フォトニックバンド構造で共通する平板の電極208となっている。それぞれの電極には、外部から電圧を印加できるように引き出し線210が設けてある。光201は、図2のように該空隙をそのz方向に沿ってレンズ系202を用いて入射されるが、この際、y方向に偏光した光を用いている。該空隙は、光の導波路として用いられ、その部分を伝播する際に位相変調され、該空隙の他の一端から放射される。

【0026】図3に本発明の第3の実施例の模式図を示す。この例は2つの位相変調器を用いて振幅変調する例である。よく知られた、リチウムナイオベイト(LiNbO<sub>3</sub>)基板にチタンを拡散させた導波路321で作られた分波器で入射光301が分波され、それぞれ別の位相変調器により、位相変調される後、分波器と同じ構造を持つ合波器で合波され、振幅変調が行われる。本実施例では、ひとつのフォトニックバンド構造を2つの位相変調器に共通に使うため、3つのフォトニックバンド

構造で、振幅変調器を構成している。フォトニックバンド構造は、第一の実施例のものと大略同じである。

【0027】また、その電極309については、各フォトニックバンド構造の上面にそれぞれ1つずつ設けたものである。中間のフォトニックバンド構造の電極に印加する信号は、他の2つの電極に印加する信号に対して逆相の信号を印加するのが望ましいが、各電極には、振幅あるいは位相の異なるそれぞれ別の信号を印加することも可能である。

【0028】

【発明の効果】この発明は上記した構成からなるので、以下に説明するような効果を奏することができる。

【0029】請求項1に記載の発明では、屈折率の変化率に対する伝搬定数の変化率が従来の装置に比べて著しく大きいことであり、従来の変調器に比べて小さな電界で必要な位相変化を生ぜしめる事や変調器の小型化が可能となり、より高集積度の光集積回路が可能となった。また、他の効果としては、光の電界分布が大きい場合でも、伝搬できる波数に対する伝搬定数が限られるため、伝播モードをシングルモードにできる点であり、このため、該電界との相互作用領域を従来に比べ大きく維持したまま、多モードに分散して伝播することによる信号劣化等の悪影響から逃れることができるようになった。さらに、電極を設計する上での利点としては、電極に電気光学効果物質が接する面積が半分程度になるため、電極下の物質の比誘電率を実質的に低下せしめることができ、従って、特性インピーダンスを容易に大きくすることが可能となった。

【0030】また、請求項2に記載の発明では、少なくとも三つの該フォトニックバンドギャップ構造と少なくとも三つのフォトニックバンドギャップ構造のうちの二つの間に設けられた複数の光導波路を用いる場合に、ひとつのフォトニックバンドギャップ構造を異なった光導波路に対して使えるようになり、フォトニックバンドギャップ構造の数を減らせるようになった。

【0031】さらに、請求項3に記載の発明では、1次元フォトニックバンドギャップ構造を用いて変調することを開示しており、簡単な構成で効率的な位相変調が可能になった。

【0032】さらに、請求項4に記載の発明では、1次元フォトニックバンドギャップ構造の構成を開示しており、電界によって屈折率の変化する平板と、該平板と屈折率の異なる領域が交互に規則的に平行に並んだ構造を用いて、効率的な位相変調が可能になった。

【0033】さらに、請求項5に記載の発明では、電極の位置を規定して、効率的な位相変調が可能になった。

【0034】さらに、請求項6に記載の発明では、さらに電極の位置を規定して、効率的な製造が可能になった。

【0035】さらに、請求項7に記載の発明では、電極

の位置を規定して、製造工程の簡略化が可能になった。

【0036】さらに、請求項8に記載の発明では、電極の位置を規定して、効率的な製造が可能になった。

【0037】さらに、請求項9に記載の発明では、電極の形状を規定して、効率的な製造が可能になった。

【0038】さらに、請求項10に記載の発明では、軽量の光変調器を実現した。

【0039】さらに、請求項11に記載の発明では、堅牢な光変調器を実現した。

【0040】さらに、請求項12に記載の発明では、電気信号を印加することで光変調ができるようになった。

【0041】また、上記の実施形態では、1次元フォトリックバンドギャップ構造の実施例を示したが、2次元あるいは3次元フォトリックバンドギャップ構造でも光導波路に光を閉じ込める作用があることから、これらの構造によっても1次元フォトリックバンドギャップ構造の結果と同様の効果を容易に得ることが出来ることは明らかである。

【0042】また、上記実施例では、フォトリックバンド構造の実現にリチウムナイオベイト ( $\text{LiNbO}_3$ ) の例を示したが、その代わりに、他の物質としては、リチウムタンタレート ( $\text{LiTaO}_3$ )、ガリウム砒素 ( $\text{GaAs}$ )、チタン酸バリウム ( $\text{BaTiO}_3$ )、ニオブ酸カリウム ( $\text{KNbO}_3$ ) 等の電気光学効果を持った物質を用いても同様の効果を得ることができる。

【0043】また、フォトリックバンド構造の構成材料の一つとして空気を用いたが、その代わりに他のガスで充たすことも可能であり、むしろ不活性ガスが望ましい。同様に、フォトリックバンド構造の構成材料の一つとして二酸化珪素を用いたが、代わりに該電気光学効果を持った物質とは屈折率の異なる他の絶縁材料で充たす事も可能であり、酸化アルミニウム ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )、弗化マグネシウム ( $\text{MgF}_2$ ) 等を用いる事ができる。この際、同じ波数になるように幾何学的サイズを調整することによって、本実施例と同様の効果を容易に得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第一の実施例を示すための模式図

【図2】本発明の第二の実施例を示すための模式図

【図3】本発明の第三の実施例を示すための模式図

【図4】本発明の原理を示すための模式図

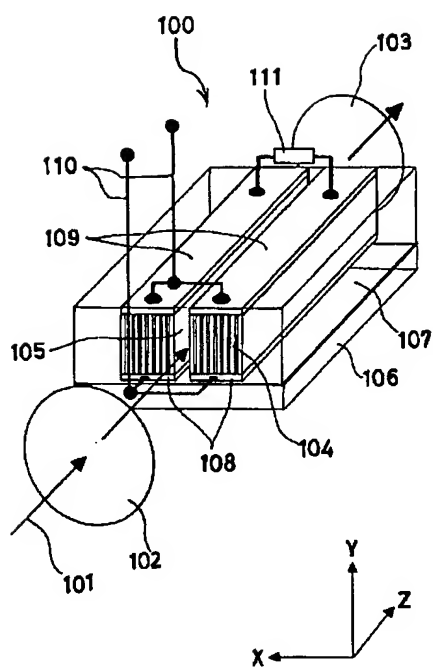
【図5】図4の構成について、数値計算によるシミュレーションで求めた結果

【図6】電気光学効果を用いた従来の光変調器の例を示す模式図

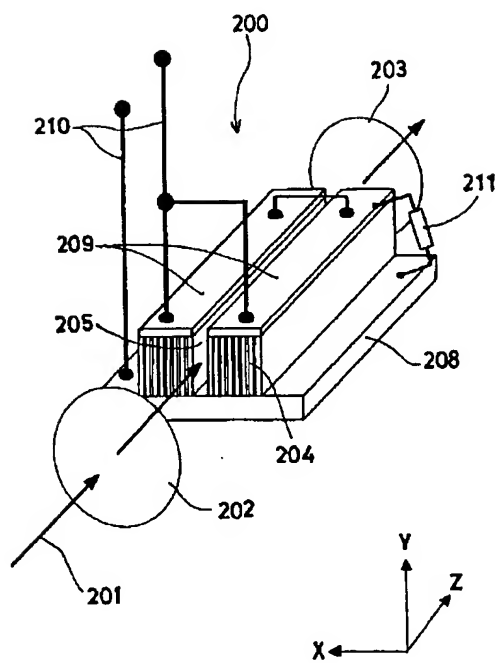
【符号の説明】

100	第一の実施例の光変調器
101	入射光線
102	入射用レンズ系
103	放射用レンズ系
104	一次元フォトリックバンド構造
105	光導波路
106	二酸化珪素基板
107	二酸化珪素
108	下部電極
109	上部電極
110	変調信号印加用引出し線
111	反射波防止用終端
200	第二の実施例の光変調器
201	入射光線
202	入射用レンズ系
203	放射用レンズ系
204	一次元フォトリックバンド構造
205	光導波路
208	下部電極
209	上部電極
210	変調信号印加用引出し線
211	反射波防止用終端
300	第三の実施例の光変調器
301	入射光線
304	一次元フォトリックバンド構造
309	電極
310	変調信号印加用引出し線
311	反射波防止用終端
320	リチウムナイオベイト ( $\text{LiNbO}_3$ ) 基板
321	$\text{LiNbO}_3$ 基板にチタンを拡散した導波路

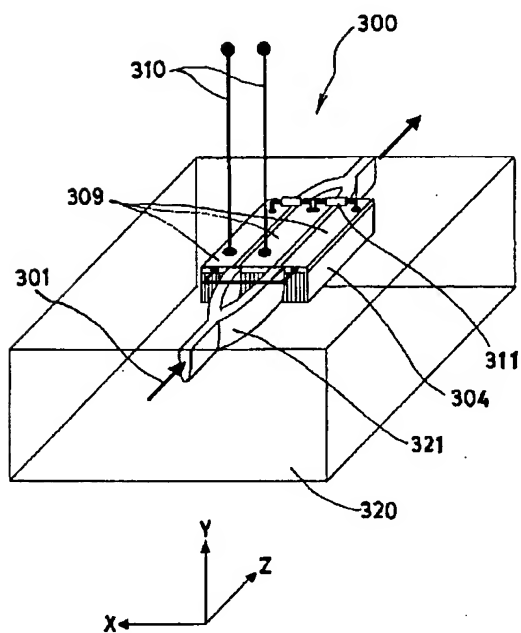
【図1】



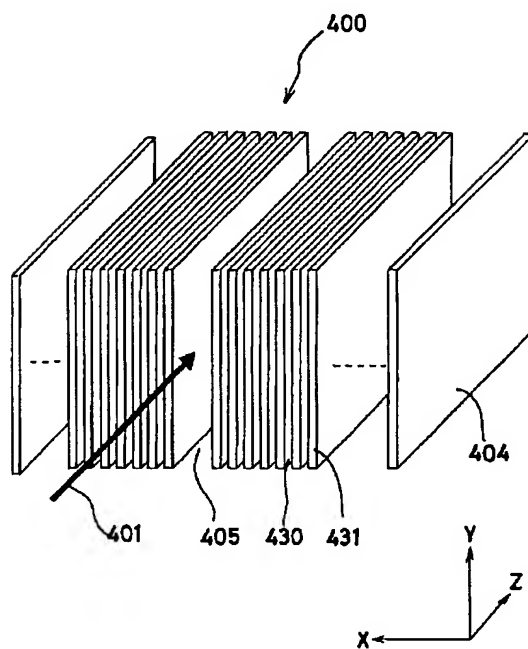
【図2】



【図3】

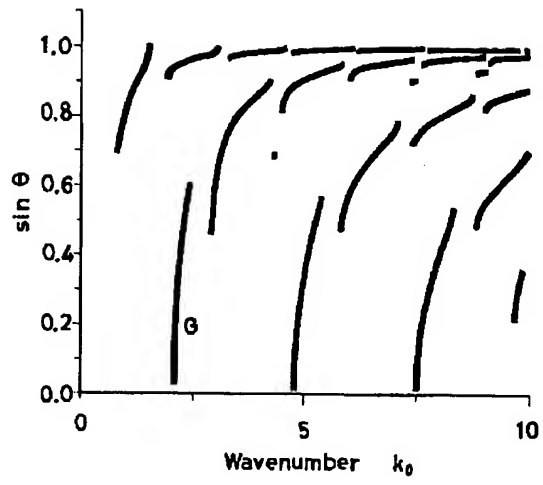


【図4】





【図5】



【図6】

